6П

УДК 004.896

В.Г. Писаренко, Ю.В. Писаренко
Институт кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины, г. Киев, Украина
jvpisarenko@gmail.com

Актуальные направления развития интеллектуализированной робототехники для снижения аварийности на шахтах

Приведен ряд авторских математических моделей анализа предвестников аварий для прогнозирования аварийных состояний на угольных шахтах и предложены базовые принципы стационарного и мобильного мониторинга с применением мобильных роботов с элементами искусственного интеллекта для повышения безопасности на угольных шахтах.

Введение

Начавшийся на рубеже 50-х годов период экстремального развития топливно-энергетического комплекса, включая угольную отрасль, продолжался более трех десятилетний, и в 1958 г. бывший СССР вышел на первое место в мире по объему добычи угля, удерживая это преимущество до 1980 г. В 1988 г. страной был достигнут наивысший уровень добычи за всю ее историю – 771,8 млн т, или 17,2% мирового производства угля.

Но после известных событий 1991 года угольная отрасль Украины практически не получала ощутимых инвестиций по модернизации используемых технологий конца XX века. Специалисты считают, что именно это является одной из главных причин непрерывного роста аварийности на отечественных шахтах. Величина убытков от аварий на шахтах и затрат на ликвидацию последствий от таких событий в Украине оцениваются свыше 30 млн $ в год.

Анализ показывает [1], что для выхода отечественной угольной отрасли из нынешнего критического состояния одной из наиболее актуальных проблем является создание высокотехнологических средств предотвращения аварий, включая создание дистанционно управляемых робототехнических систем и мобильных интеллектуализированных роботов-разведчиков (ИРР) для контроля текущих и послеаварийных состояний участков горного производства.

Постановка задачи

Для решения многих актуальных задач угольной промышленности является актуальной задача повышения роли средств контроля и автоматики для предотвращения аварий, технологий использования дистанционно управляемых и автономных мобильных роботов для профилактического контроля состояния участков горного производства повышенной опасности для персонала и для оперативного проведения мероприятий по ликвидации последствий аварии на шахтах.

Разработка системы интеллектуализированных роботов для дистанционного мониторинга требует использования специальной технологии обмена оперативными дан-

ными для борьбы с авариями на шахтах, включая многоканальный мониторинг уровня рисков аварийности (по метану, угольной пыли, первоисточникам воспламенения), распределенную сеть стационарных и мобильных сенсоров на территории шахты.

Таким образом, приходим к одной из разновидностей более общей задачи оперативного обнаружения опасных быстропротекающих ТЭП, его идентификации и принятия оптимальных средств нейтрализации последствий данного ТЭП. В такой, более общей, постановке эта проблема рассматривалась в ряде работ авторов [2-5] как проблема «УПРАВЛЕНИЕ_ТЭП».

Сочетание стационарного и мобильного мониторинга

Здесь считаем необходимым подчеркнуть, что наш анализ нынешнего состояния аварийности на украинских шахтах приводит к выводу, что продолжает быть актуальной не только проблема усовершенствования системы стационарного мониторинга уровня рисков аварии на всех основных технологических участках шахтной выработки, но и создание системы оперативного реагирования на внезапно возникшие очаги вероятной аварии в конкретном месте (быстрая доразведка внезапно выявленных зон быстро растущего риска новой аварии и меры максимальной нейтрализации ее ожидаемых последствий), базирующейся на применении специальной мобильной интеллектуализированной робототехники (использование ТИР).

Для целей практического проектирования и использования ТИР для решения задачи формирования интеллектуальных роботов быстрого реагирования (как подраздел авторской технологии «УПРАВЛЕНИЕ_ТЭП» [2-5]) необходимо методом имитационного моделирования с использованием БД и БЗ, ИАС_ТЭП и ИХ_ТЭП [2-5] вычислить приемлемый темп принятия решений, то есть длину интервала $t \in (\varepsilon, t_{onm})$ для выполнения полного цикла трех операций: «доразведка + распознавание + нейтрализация» данного опасного ТЭП. В работах авторов алгоритм предвычисления ожидаемого значения t_{onm} получается с помощью так называемой базовой теоремы [2].

Не считая целесообразным здесь давать детальную формулировку и доказательство этой теоремы, рассмотрим подробнее важный и притом весьма распространенный случай: величина затрат на доразведку и нейтрализацию $S_\partial(t)$ является монотонно убывающей функцией от времени t, а величина $S_y(t)$ накопившегося ущерба к текущему моменту $t \in [\varepsilon, T]$ является монотонно растущей функцией времени t, причем обе функции $S_\partial(t)$ и $S_y(t)$ являются выпуклыми книзу функциями своего аргумента.

Для этой ситуации в нашей работе [2] получены некоторые достаточные условия, обеспечивающие существование минимума суммы $S_\partial(t) + S_y(t)$ на этом интервале. Алгоритм конкретизации вычисления экстремума (минимума) особенно наглядно получается для достаточно общего случая, когда функции $S_\partial(t)$ и $S_y(t)$ из леммы 1 работы [2] допускают мажорирование (целесообразное в силу объективной неполной предсказуемости описания изменчивых внешних для ТЭП условий в данном имитационном моделировании как, фактически, fuzzy-процессе) сверху и снизу некоторыми монотонными функциями аргумента t: это верхняя $W_y(t)$ и нижняя мажоранты $V_y(t)$ для $S_y(t)$, и аналогично верхняя $W_\partial(t)$ и нижняя мажоранты $V_\partial(t)$ для $S_\partial(t)$, так что по определению справедливы неравенства:

$$W_y(t) > S_y(t) > V_y(t), t \in [\varepsilon, T], 0 < \varepsilon < T;$$

$$W_\partial(t) > S_\partial(t) > V_\partial(t), t \in [\varepsilon, T], 0 < \varepsilon < T.$$

Названная лемма [2] позволяет получить ожидаемое положение оптимального момента времени $t_{опт} = t_{расп} + t_в + t_н$ для данного ТЭП, который отвечает моменту времени, когда суммарные затраты на всю процедуру «доразведка + нейтрализация + накопившийся ущерб от ТЭП» минимальны для всего рабочего интервала прогнозирования $t \in [\varepsilon, Tt_{min} - \delta_1 \leq t_{расп} + t_в + t_н \leq t_{min} + \delta_2]$, где $t_{расп}$ – общее время доразведки, распознавания и идентификации (в соответствии с работой [2]), $t_в$ – длительность процесса выбора технологий нейтрализации, $t_н$ – длительность процесса нейтрализации ЭП/ЧС с помощью этих технологий, некоторые параметры $\delta_1 > 0$ и $\delta_2 > 0$, означающие оценку вклада стохастичности (из-за неполной предсказуемости описания изменчивых внешних для ТЭП условий в данном fuzzy-процессе).

Иными словами, в лемме два параметра (ε – момент начала интервала имитационного моделирования и Т – конец интервала моделирования) выбираются из оценок начала и конца прогнозного интервала такими, чтобы получаемый интервал моделирования содержал искомый минимум $t_{опт} = t_{расп} + t_в + t_н$ для данного ТЭП.

Некоторые базовые предвестники крупных аварий на угольных шахтах

Для установления взаимодействия стационарного и мобильного мониторинга шахтной предаварийной обстановки целесообразно использование выявленных ранее корреляций выбросов метана с активизацией акустической эмиссии в зоне выработки и с темпом проходки [6]. Для прогноза и контроля динамики метановыделения в очистных забоях в работе [6] предлагается подвергнуть анализу SSA множество факторов, влияющих на этот процесс. Проблема прогнозирования метановыделения решается в концептуальном аспекте, и для демонстрации возможностей метода гибридного прогнозирования рассмотрим в качестве примера динамические ряды метановыделения (CH_4), акустической эмиссии (АЭ) и скорости продвигания (V) на 25-ой лаве шахты «Молодогвардейская» ОАО «Краснодонуголь». В результате применения SSA (Singular Spectrum Analysis) по каждому фактору выделено 18 – 20 значимых компонент, сравнительный анализ которых позволяет создать несколько групп корреляционных зависимостей, а качественная трактовка таких зависимостей, по мнению авторов работы [6], позволяет выявлять ряд весьма важных, но скрытых при первичном анализе связи факторов метановыделения, акустической эмиссии и скорости продвигания лавы в забое.

Другой достаточно известной группой источников аварий на угольных шахтах являются процессы самовозгорания угольных пластов. Например, в работе [7] предлагается степень пожароопасности угольных пластов определять по методу, основанному на обработке статистического материала о возникших эндогенных пожарах за длительный период работы шахт. Этот метод учитывает горногеологические и горнотехнические условия разработки пластов (мощность, угол падения, скорость продвигания лавы, диффузионное сопротивление). В качестве признаков пожароопасности учитываются внутренние свойства углей, характеризующие их способность к окислению, и условия нахождения угольных скоплений (их размеры, конфигурацию, прососы воздуха, параметры тепло- и массоотдачи и др.). В связи с этим предлагается разработка комплексного показателя пожароопасности, учитывающего интенсивность притока теплоты при химических реакциях угля с кислородом воздуха и вынос ее, и сравнение со статистическими данными. Сформулирована математическая модель переноса теплоты и различных газов (метана, кислорода) в фильтрационном потоке

через слой угольных частиц различных фракций. Предполагается, что источники теплоты расположены в твердой фазе на реакционной поверхности частиц с учетом десорбции метана и паров воды, сорбции и хемосорбции кислорода. Найдено численно-аналитическое решение задачи, позволяющее выполнить расчеты динамики температуры в угольном скоплении, при этом учитываются его геометрические параметры, характеристики угля и прилегающих пород. Температура угля плавно поднимается до некоторого критического значения, после чего начинается ее резкое повышение и происходит возгорание. В случае метановыделения время достижения критической температуры увеличивается и при остаточной газоносности пласта более 5 м^3/т может возрасти в 1,5 – 2 раза.

По совокупности физико-химических свойств, определенных в лабораторных условиях для каждого пласта, при прочих равных параметрах, отражающих геометрические размеры скопления, утечки воздуха, теплоотвод, можно установить, за какое время достигается температура самовозгорания [7]. Сравнение с пороговым значением позволяет сделать заключение о склонности углей к самовозгоранию.

Для обнаружения аварийноопасных периодов с помощью интеллектуальных систем обработки потока мониторинговой информации по отдельным технологическим участкам шахты целесообразно развивать систему мобильного мониторинга для дополнительного наблюдения за новообразующимися участками в пространстве-времени и для принятия соответствующих превентивных мер перед вероятной (ожидаемой) аварией, – с применением упомянутых выше ТИР.

Уравнения Колмогорова для прогнозирования развития предаварийной ситуации на шахте

Детальный анализ причин и предпосылок всей статистики за период с начала 60-х до начала 90-х годов XX столетия взрывов на шахтах угледобывающей промышленности бывшего СССР показывает (например, монография [8]), что подавляющее большинство этих аварий происходило при возникновении предаварийного состояния шахтной атмосферы по концентрации метана и угольной пыли в течение «достаточно длительного» времени, на фоне чего появление высокотемпературного источника (прежде всего искра производственного происхождения, а также беспечность горняков-курильщиков – например, табл. 1.1. из работы [8]) приводило к взрыву с вероятностью, зависящей от времени ожидания и степени критичности концентрации метана и угольной пыли. Для прогнозирования создания такой предаварийной ситуации на шахте можно воспользоваться моделью однородных марковских процессов как раздела теории случайных процессов. Согласно выводам этой теории, вероятности нахождения системы во всех возможных ее состояниях в текущий момент времени t удовлетворяют линейной системе обыкновенных дифференциальных уравнений Колмогорова [9]:

$$\frac{dP_i(t)}{dt} = -\sum_{j=0}^{n} \lambda_{ij} P_j(t) + \sum_{k=0}^{n} \lambda_{ki} P_k(t),\ i = 0,\ldots,n, \qquad (1)$$

где i – номер состояния, $P_i(t)$ – вероятность нахождения в i-ом состоянии, λ_{ij} – интенсивность потока из i-го состояния изучаемой системы, λ_{ki} – интенсивность потоков, входящих в i-ое состояние. При интегрировании уравнений (1) задаются начальные условия в форме $P(0) = p_{i0}$. В любой момент времени должны выполняться условия $\sum_{i=1}^{n} P_i(t) = 1$.

В реальном случае компьютерного моделирования развития предаварийной ситуации интенсивности λ_{ij} задаются для конкретной шахты из статистики прошлых наблюдений и экспериментальных исследований взрыва в специальных лабораториях во взрывных камерах [8]. В Институте кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины создан комплекс программного обеспечения для расчета предаварийных ситуаций методом уравнений Колмогорова. Ниже приведена в качестве примера схема расчета упрощенной системы, учитывающей наличие метана в атмосфере и искры для 4 состояний: «нет метана и нет искры (состояние Q_0)»; «есть метан и нет искры (состояние Q_1)», «нет метана и есть искра (состояние Q_2)»; «есть метан и есть искра» (состояние Q3)». Для такой модели возникает граф с указанными на нем переходами между этими 4 состояниями (рис. 1).

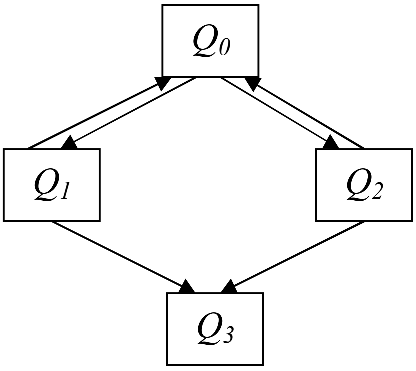


Рисунок 1 – Граф с указанными на нем переходами между 4 состояниями в шахте

Значения интенсивностей λ_{ij} переходов $Q_i \to Q_j$ между различными состояниями выбирались в виде, показанном в табл. 1.

Таблица 1

Интенсивность λ_{ij}	λ_{01}	λ_{02}	λ_{13}	λ_{23}	λ_{10}	λ_{20}
Значение	6	0,5	1	3	0,5	5

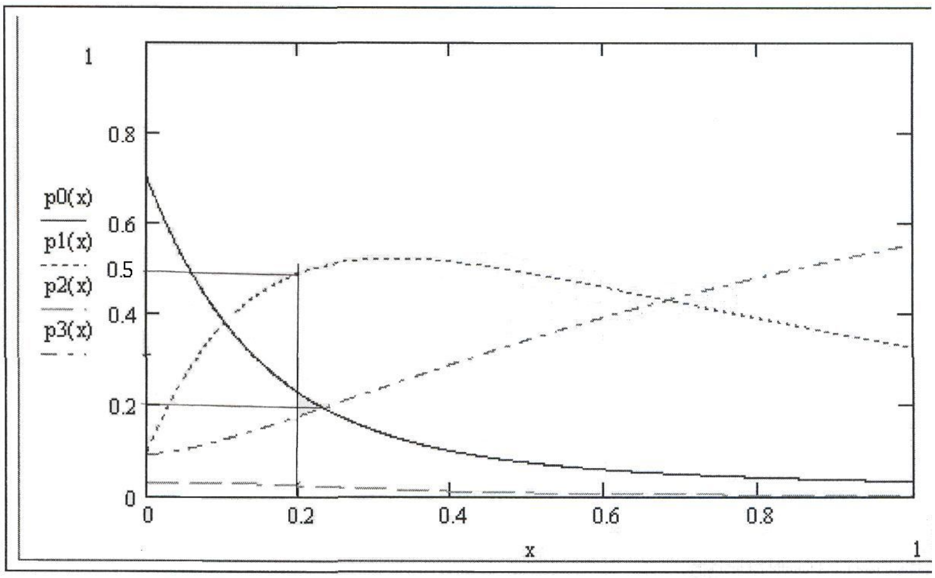


Рисунок 2 – Графики построенных решений системы уравнений Колмогорова (1) для развития предаварийного состояния на шахте для данных из табл. 1

График построенных решений уравнения (1) для 4 вероятностей $P_i(t)$ с начальными условиями $p_{00} = 0,7$; $p_{01} = 0,1$; $p_{02} = 0,11$; $p_{03} = 0,09$ приведен на рис. 2, из которого видно, что вероятность системы находится в аварийном состоянии Q_3 («есть метан и есть искра») растет от начального значения 0,09 до значения 0,57 к моменту времени $t = 1, 0$.

Использование фреймов для создаваемой системы ТИР_shahta

В связи с вышеизложенным с точки зрения возможности применения интеллектуальной робототехники целесообразно создание и последующее использование специализированных мобильных роботов (ТИР_shahta), способных произвести разведку зоны начала завала (например, получение 3D-координат и типа завала с точки зрения возможности проникновения робота через завал к людям для уточнения характера ущерба уже нанесенного людям в зоне завала и потенциально вероятного ущерба для других людей, наличие раненых и прежде всего – тяжелораненых).

Одна из последующих задач, которую должен выполнить один из роботов проектируемой группы ТИР_shahta, состоит в измерениях параметров шахтной атмосферы в зоне завалов (определение концентрации кислорода, высокой концентрации CO, CO_2, угольной пыли, водяных паров, ацетилена и ряда других особо вредных для человека газов). Статистика подобных аварий делает актуальным наличие различных видов шасси и движителя для роботов из ТИР_shahta (односекционное шасси с колесным движителем; многосекционное шасси с комбинированным движителем «колеса – гусеницы», способное преодолевать неровности и впадины типа «валы», «канавы», «отдельные крупные валуны», «зона осыпи» и др.).

Для обеспечения основных режимов работы для мобильного модуля-разведчика последний должен быть обеспечен бортовой БД команд, которые могут быть сформулированы, в частности, в терминах фреймов. Например, фрейм «обнаружить объект А», входящий в заданный перечень объектов поиска; фрейм «приблизиться в достаточной степени к объекту А», фрейм «захватить объект А», фрейм «двигаться с захваченным предметом до зоны В» из заданного перечня «зон интереса поиска».

Для поставленных целей следует предусмотреть создание действующего образца робота-носителя аппаратуры (то есть носителя сенсоров и бортового миникомпьютера), проведение ходовых испытаний действующего образца робота-носителя аппаратуры в условиях лабораторного полигона, имитирующего сложный рельеф интерьера и прочие экстремальные условия горной шахты, подбор базовой группы сенсоров для оценки уровня концентрации важных компонентов состава атмосферы.

Для решения многих актуальных проблем угольной промышленности одной из первостепенных задач является создание высокотехнологических средств предотвращения аварий, включая разработку дистанционно управляемых роботов для профилактического контроля текущих и предаварийных состояний участков горного производства с повышенной опасностью для персонала и для оперативного проведения мероприятий по ликвидации последствий аварий на шахтах.

В мировой литературе очень мало упоминаний об использовании близких технологий использования роботов для задач предотвращения и ликвидации масштабных аварий, которые бы использовали дистанционно управляемых роботов-разведчиков с элементами искусственного интеллекта. Можно, например, указать описание анализа

использования новой техники на шахте «Beaconfield Gold Mine» (Австрия) с использованием так называемой разрядно-импульсной технологии изготовления узкого туннеля диаметром 0,3 м для поддержки жизнедеятельности, а потом и для эвакуации двух шахтеров, которые попали под завал на шахте [10].

Анализ предложений по созданию автоматизированных систем противоаварийной защиты шахт

В контексте сопоставления системы стационарного и мобильного мониторинга шахт можно выделить ряд работ, в которых предлагается создание автоматизированных систем мониторинга и противоаварийной защиты шахт. Так, в работе [11] предлагается концепция трехуровневой компьютерной сети для целей автоматизированной системы противоаварийной защиты шахт (АСПАЗШ), содержащей следующие три уровня.

Нижний (первый) уровень. Технические средства системы на этом уровне обеспечивают горного диспетчера, руководителей участков информацией, необходимой для оптимального ведения горных работ с учетом взаимосвязи технологических звеньев. Используются также данные о состоянии горного массива, рудничной атмосферы, энергоснабжения. На основании этой информации технические средства должны автоматически определять текущее и прогнозируемое состояние технологических звеньев. Результатом может быть рекомендация о перераспределении транспортных средств при локомотивной откатке, об изменении режима или приостановлении ведения горных работ в забоях по горно-геологическим или горно-техническим факторам или в часы пик потребления электроэнергии, а также о действиях персонала в аварийной ситуации.

На втором уровне АСПАЗШ автоматизированное формирование нарядов и заданий на ведение работ. Технические средства этого уровня должны обеспечивать руководство технических служб и производственных участков необходимой для этого текущей и прогнозной информацией о работе участков, наличии материальных и трудовых ресурсов (запасные части, резервное оборудование, материалы, ремонтное обслуживание, фактический выход на работу), а также производить комплексную оценку состояния этих участков и смежных с ними технологических объектов.

На верхнем (третьем), общешахтном уровне компьютерная сеть обеспечивает сбор, накопление, распределение и хранение производственной информации и информации о безопасности работ в каждом технологическом звене шахты, оценке безопасности и ее ранжировании по уровням технологических цепочек шахты, ввод информации в базы данных АСПАЗШ, ввод нормативно-справочной информации, инструкций, плана предупреждения аварий и прочей информации, необходимой для оперативного принятия управленческих решений, передачу информации оперативному персоналу, ведущим специалистам и руководителям шахты как по приказу, так и по вызову; представление информации на графических дисплеях; компьютерную поддержку принимаемых управленческих решений. Общешахтная компьютерная сеть АСПАЗШ должна обеспечивать:

– своевременное без задержки получение диспетчером информации о появлении опасных ситуаций на контролируемых объектах;

– своевременное получение в диспетчерском пункте в режиме реального времени информации о ходе технологических процессов, состоянии оборудования и состоянии безопасности в каждом технологическом звене;
– представление в наиболее удобной для восприятия в каждом конкретном случае форме информации о состоянии контролируемых объектов;
– возможность оперативного вмешательства с диспетчерского пункта в работу оборудования при возникновении нештатных и аварийных ситуаций;
– контроль прохождения команд управления и подачу предупредительных сигналов при их невыполнении;
– возможность по запросу потребителя анализа работы отдельных объектов или групп объектов по основным технологическим параметрам за требуемое время;
– возможность дистанционной настройки и диагностирования контроллеров на обслуживаемых объектах;
– ведение учетных и отчетных документов и журналов действий операторов, аварийных ситуаций, связи и пр.

Выводы

Анализируя концепцию автоматизированной системы противоаварийной защиты шахт (АСПАЗШ) из работы [11], авторы данной работы считают, что реализация современной автоматизированной системы контроля безопасности (АСКБ) на угольных шахтах должна, помимо решения задач стационарного мониторинга (перечисленных в упомянутой концепции АСПАЗШ авторов работы [11]), включать также систему мобильного мониторинга состояния предвестников аварий на базе технопарка интеллектуализированных мобильных робототехнических устройств (ТИР) с соответствующей информационно-аналитической системой (ИАС), описанной в наших работах [12-14], причем в качестве базового высокопроизводительного компьютера поддержки функционирования предлагаемой компьютерной сети следует использовать многопроцессорный комплекс типа серии ИНПАРКОМ, разработанный в Институте кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины и созданный этим академическим учреждением совместно с ГНПП «ЭЛЕКТРОНМАШ» [3]. Подобная система интеллектуальной робототехники, предусматривающая использование специализированных мобильных роботов (ТИР_shahta). Для этой системы необходимо создать как один из необходимых сегментов распределенную систему обмена информацией и целеуказаниями почти реального времени, которая, в отличие от известных близких распределенных информационных систем подобного класса, должна обеспечивать информационные потоки о ходе событий с предвестниками и началами аварии в режиме, близком к on-line. Такая система актуальна уже сейчас для Украины, для многих стран СНГ, и по-видимому, для стран далекого зарубежья.

Литература

1. Кривонос Ю.Г. Интеллектуальное управление с распознаванием образов в нечеткой среде с использованием многопроцессорных технологий / Ю.Г. Кривонос, В.Г. Писаренко, О.И. Чайковский // Искусственный интеллект. – 2004. – № 1. – С. 125-145.
2. Кривонос Ю.Г. Структура информационно-аналитической системы поддержки задач раннего обнаружения, доразведки и нейтрализации опасных экологических происшествий / Ю.Г. Кривонос, В.Г. Писаренко, Ю.В. Писаренко // Интеллектуальные и многопрцессорные системы : материалы Седьмой научн.-техн. конференции. – Таганрог-Донецк-Минск. – 2006. – Т. 1. – С. 95-98.

3. Писаренко В.Г. Разработка информационно-аналитических систем поддержки принятия решений по управлению опасными быстропротекающими технологическими происшествиями / В.Г. Писаренко, Ю.В. Писаренко // Міжнар. конф. 50 років Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова : праці конференції (Київ, 24 – 26 грудня 2007 р.). – 2007. – С. 214-222, 323-327.
4. Писаренко В.Г. Вопросы виртуального проектирвании систем, ориентиронанных на создание интеллектуализированных роботов для мониторинга экстремальных сосотяний техносферы. Ч. 1. / В.Г. Писаренко, Ю.В. Писаренко // УСиМ. – 2005. – № 4. – С. 8-18.
5. Писаренко В.Г. Информационные технологии управления опасными техноэкологическими происшествиями / В.Г. Писаренко, Ю.В. Писаренко. – Москва : Из-во «Зодиак», 2007. – 112 с.
6. Окаленов В.Н. Прогноз динамики метановыдления в очистных забоях / В.Н. Окаленов [и др.] // Уголь Украины. – 2008. – № 7. – С. 21-24.
7. Греков С.П. Комплексный показатель пожароопасности угольных пластов / С.П. Греков [и др.] // Уголь Украины. – 2007. – № 1. – С. 32-34.
8. Нецепляев М.И. Борьба со взрывами угольной пыли в шахтах / Нецепляев М.И., Любимова А.И., Петрухин П.М. – М. : Недра, 1992. – 298 с.
9. Нейрокомпьютеры в авиации / под ред. Васильева В.И., Ильясова Б.Г., Кусимова С.Т. – М. : Изд-во «Радиотехника», 2004. – 496 с.
10. Мнухин А.Г. Разрядно-импульсная технология для спасения рабочих, застигнутых обрушением пород / А.Г. Мнухин, А.М. Брюханов // Уголь Украины. – 2007. – № 7. – С. 29-31.
11. Синенко В.В. Информационные технологии – основа стратегии развития безопасной угледобычи / В.В. Синенко, В.Г. Курносов, В.В. Виноградов // Уголь Украины. – 2001. – № 1. – С. 30-34.
12. Писаренко Ю.В. Инструментальные средства проектирования многофункциональных самоорганизующихся роботов / Ю.В. Писаренко // Искусственный интеллект. – 2005. – № 1. – С. 250-258.
13. Писаренко В.Г. Робототехнические системы с интеллектуальными сенсорами и многопроцессорными имитаторами динамического состояния объекта управления / В.Г. Писаренко, И.А. Варава, Ю.В. Писаренко [и др.] // Искусственный интеллект. – 2004. – № 3. – С. 752-758.
14. V. Pisarenko Information models for robotics system with intellectual sensor and self-organization / V. Pisarenko, I. Varava, J. Pisarenko [end all.] // KDS Varna (Bulgaria). – 2005. – Vol. 2. – Sophia : FOI – commerce.

В.Г. Писаренко, Ю.В. Писаренко
Актуальні напрями розвитку інтелектуалізованої робототехніки для зниження аварійності на шахтах
Наведено ряд авторських математичних моделей аналізу передвісників аварій для прогнозування аварійних станів на вугільних шахтах та запропоновано базові принципи стаціонарного і мобільного моніторингу з використанням мобільних роботів з елементами штучного інтелекту для підвищення безпеки на вугільних шахтах.

V. Pisarenko, Yu. Pisarenko
The Topical Directions of Robotics Development for Accidents Reduction in Coal Mines
This article describes a number of authors' mathematical models for analysis of accidents early warning to predict the emergency state in coal mines. We propose the basic principles of fixed and mobile monitoring with the application of mobile robotics with artificial intelligence elements to improve safety in coal mines.

Статья поступила в редакцию 16.07.2009.